SetE BULLETIN SCIENCE ET ENVIRONNEMENT SetE
Numéro 23 mars/avril 2001

LE BÉCASSEAU MENACÉ D'ÉVICTION

La terre le long des côtes méridionales du détroit de Géorgie, en Colombie-Britannique, est très recherchée — non seulement par des promoteurs désireux de tirer profit de l'accès aux ports de mer, de terres agricoles fertiles et de panoramas admirables, mais aussi par des millions d'oiseaux migrateurs qui y font halte pour se nourrir durant leur périple entre les côtes du sud et leur lieu de reproduction dans le nord. Étant donné la rapide croissance de la population humaine dans la région — elle dépasse maintenant les trois millions — ces oiseaux risquent d'être évincés et d'en subir les conséquences tragiques.

L'un des plus petits visiteurs de la région est le Bécasseau d'Alaska, un oiseau de rivage de la taille d'un moineau qui niche en Alaska et emprunte principalement la voie migratoire du Pacifique pour gagner ses vastes aires d'hivernage le long des côtes, du sud des États-Unis au Pérou. Les biologistes savent depuis longtemps que les petits oiseaux de rivage fréquentent les vasières intertidales en quête d'invertébrés dont ils ne font qu'une bouchée. L'une de ces vasières est le banc Roberts, dans le delta du fleuve Fraser, juste au nord de la frontière internationale. Grouillant de crustacés, de mollusques et d'autres aliments, le banc fournit des proies à un large éventail d'oiseaux, y compris des millions de Bécasseaux d'Alaska.

Un Bécasseau d'Alaska

Ce qu'on ignorait, jusqu'à tout récemment, c'est que le Bécasseau d'Alaska dispose d'autres moyens de se nourrir, et que ces moyens sont plus adaptés aux conditions particulières du banc qu'on l'avait d'abord cru. Les scientifiques du Service canadien de la faune d'Environnement Canada et de l'Université de Nantes, en France, ont découvert, grâce à la microscopie électronique à balayage, que le bec et la langue de l'oiseau sont constitués de manière à lui permettre de repérer et de gober du « biofilm » — très fine pellicule à la surface de la vase, qui contient des bactéries, des algues, de petits crustacés, ainsi que leurs excrétions muqueuses. Vraisemblablement, le mucus du biofilm adhère dans un premier temps au mucus sécrété par la langue de l'oiseau, qui se sert alors du bout de son bec pour arracher des parcelles de cette glu nutritive. Bien que d'autres espèces d'oiseaux fouillent la vase à la recherche de nourriture, on ne s'était jamais rendu compte que certaines d'entre elles allaient jusqu'à ingérer la vase elle-même. D'autres observations et expériences menées sur le terrain par des chercheurs de l'Université de la Colombie-Britannique et de l'Université Simon Fraser ont révélé que les Bécasseaux d'Alaska avalent aussi de gros vers, qui trahissent leur présence dans la vase par des ondes de pression.

À l'instar de la majeure partie du littoral du détroit de Géorgie, le littoral du banc Roberts a été considérablement perturbé et pollué ces quatre dernières décennies par les projets immobiliers, et la superficie d'espaces naturels a beaucoup rapetissé. Pourtant, bien qu'il soit un habitat des oiseaux d'importance mondiale, le banc ne bénéficie à l'heure actuelle d'aucune protection légale en tant que réserve d'espèces sauvages. Il abrite des installations portuaires gigantesques où accostent tous les ans des milliers de traversiers et d'autres navires — chacun d'eux transportant du carburant, du pétrole et divers produits qui pourraient avoir des effets dévastateurs en cas de déversement. Oiseau se nourrissant à la surface, le Bécasseau d'Alaska craint particulièrement les métaux lourds et les autres polluants de sources industrielles.

Le banc Roberts a aussi subi le contrecoup de la construction de deux grandes jetées qui soutiennent les installations portuaires. Ces jetées ont entravé la circulation naturelle des éléments nutritifs en provenance du Fraser et, par voie de conséquence, entraîné une modification des communautés d'invertébrés du banc et perturbé le biofilm. C'est pourquoi les animaux qui tirent leur nourriture de la vase, comme le Bécasseau d'Alaska, semblent avoir été refoulés dans un territoire dont les frontières ont sensiblement rétréci. Par surcroît, l'avenir du banc Roberts est de nouveau compromis du fait que 700 hectares de terres agricoles le long de ses côtes font maintenant l'objet de propositions d'aménagement qui pourraient avoir des conséquences environnementales considérables sur les vasières.

Des équipes composées de biologistes d'Environnement Canada et d'universités locales continuent d'étudier le Bécasseau d'Alaska et ses habitudes afin d'en apprendre davantage sur la conservation de l'espèce dans le delta du Fraser et de s'assurer que des mesures sont prises pour protéger l'habitat vital de ce petit oiseau — avant qu'une marée humaine n'ait entraîné son éviction définitive. SetE

À L'INTÉRIEUR

2 Techniques génétiques et gestion de la faune
3 Un système radar qui évalue la gravité des tempêtes
3 Anatomie d'un orage
4 Les acides haloacétiques dans l'environnement
4 Plein feu sur les gaz de décharge
5 Des indices pour éclaircir les mystères du climat

TECHNIQUES GÉNÉTIQUES ET GESTION DE LA FAUNE

Partie d'un brin d'ADN

Un lot de jeunes perroquets arrivent au Canada et bien qu'ils soient trop jeunes pour être identifiés à vue, le matériel génétique d'une plume révèle qu'il s'agit d'oiseaux d'une espèce en voie de disparition de l'Amazone introduits en contrebande. Le sang des Crotales Massasauga de l'Est indique que le matériel génétique de populations vivant à proximité les unes des autres est plus distinct qu'on ne l'avait jamais imaginé — ce qui est lourd de conséquences pour l'exécution des plans de rétablissement visant à relocaliser des individus de cette espèce menacée dans de nouveaux territoires.

En analysant et en comparant la constitution génétique de plantes et d'animaux, on peut non seulement améliorer les évaluations réalisées selon des méthodes traditionnelles, mais également recueillir des renseignements qu'il serait autrement impossible d'obtenir. Autrefois trop exigeantes en main-d'œuvre et trop coûteuses pour être utilisées souvent, les techniques moléculaires sont devenues plus accessibles ces dernières années grâce au perfectionnement des techniques de laboratoire, à l'accroissement de la puissance informatique et à la baisse des coûts du matériel. Environnement Canada, en étroite collaboration avec des laboratoires d'université et d'autres partenaires, applique les techniques génétiques à la conservation de la faune — dans des domaines tels que la conservation et la surveillance des populations, les études sur les répercussions des contaminants toxiques et les enquêtes sur les délits contre la faune et les poursuites qui s'ensuivent.

On trouve l'acide désoxyribonucléique (ADN), principal constituant des gènes, dans les cellules des organismes vivants — y compris les composantes du sang, de la peau, du pelage, des ongles, des plumes et des coquilles d'œufs. Les molécules d'ADN sont composées d'une séquence linéaire d'éléments, les nucléotides, et forment un long ruban continu à l'intérieur d'une structure appelée chromosome. La séquence unique des nucléotides que renferme un chromosome détermine les caractères héréditaires d'un individu — de son espèce à son sexe en passant par ses traits, tels que la couleur des yeux. Chaque gène occupe une place particulière dans les brins d'ADN, ce qui rend possible la comparaison d'un même gène dans des échantillons différents.

Le taux de mutation varie selon les différentes parties de l'ADN. Certains gènes sont si indispensables au fonctionnement de l'individu que la plupart des changements ou des mutations qu'ils subissent menacent la survie et ne sont pas transmis à la génération suivante. Dans le cas d'autres gènes, responsables de traits plus superficiels, la mutation peut s'accomplir plus rapidement et, s'il s'agit de parties de l'ADN qui ne sont pas « codées », la vitesse de mutation peut encore augmenter. Comme les aiguilles d'une horloge, qui, chacune, servent à mesurer différentes échelles de temps, les différences entre les taux de mutation permettent de comparer des divisions très anciennes et de remonter jusqu'à des divisions très récentes entre parents et rejetons.

De nombreuses techniques génétiques sont fondées sur un procédé qui permet de reproduire de courts segments d'un brin d'ADN et d'obtenir ainsi une quantité suffisante de matériel génétique pour procéder à des analyses. On peut examiner ces segments afin d'y chercher des variations de taille chez divers individus ou des variations dans la séquence réelle de nucléotides. Par contraste, d'autres techniques utilisent des enzymes pour couper l'ADN en segments qu'on munit d'un marqueur radioactif afin d'obtenir une forme visible sur un film radiographique. L'analyse des empreintes génétiques est la plus connue de ces techniques. On peut comparer une empreinte à d'autres empreintes afin de déterminer si deux ou plusieurs d'entre elles proviennent du même individu ou d'identifier des parents proches, comme des parents et des frères et sœurs.

Dans le domaine de la conservation et de la surveillance des populations, on fait appel aux techniques génétiques pour établir un lien de parenté entre des individus trouvés dans des régions distinctes, déterminer des comportements migratoires, établir des frontières géographiques, évaluer la transmission génique parmi des groupes, établir le profil de la diversité génétique et la répartition des sexes au sein d'une population et gérer les programmes de reproduction en captivité et les tentatives de relocalisation et de réintroduction. L'information génétique peut aussi servir à déterminer si de petites populations sont porteuses d'une composante unique de la diversité biologique globale.

Les techniques d'analyse de l'ADN sont particulièrement utiles lorsqu'on veut étudier des animaux qui ont peu de contact avec les humains, entre autres les serpents, les grenouilles et quelques espèces d'oiseaux. Il n'y a pas très longtemps, une enquête génétique effectuée sur des populations de Grenouilles maculées du nord-ouest du Pacifique a révélé qu'il existait deux espèces distinctes là où l'on croyait qu'il n'y en avait qu'une seule. Maintenant, le nom « Grenouille maculée de l'Oregon » désigne trois populations isolées des basses terres du Fraser, en Colombie-Britannique, et 10 des États-Unis. Environ 79 p. 100 des individus ont disparu de l'aire de répartition de l'espèce, et moins de 300 ont été recensés dans les populations canadiennes.

La génétique sert également à distinguer les espèces et les sous-espèces pourvues de caractéristiques extérieures semblables. Par exemple, on compte pas moins de 100 sous-espèces de Bernaches du Canada, et il est impossible de reconnaître avec certitude bon nombre

Suite à la page 3

Suite de la page 2

d'entre elles à vue. Bien que la population de l'Atlantique ait récemment diminué de 75 p. 100, la tendance à la baisse a été camouflée au début par une augmentation exponentielle du nombre d'oiseaux faisant halte dans les aires d'hivernage courants. Environnement Canada collabore actuellement avec la *Michigan State University* en vue d'obtenir les profils génétiques de toutes les sous-espèces vivant en Ontario, projet pour lequel il faudra au moins quatre ans avant de le mener à terme. Les résultats permettront aux biologistes d'utiliser les ailes et les rectrices fournies par les chasseurs pour surveiller de plus près les populations d'individus et fixer les limites de prises suivant les besoins.

Des études génétiques récentes sur un canard menacé de disparition, l'Arlequin plongeur de l'Est, révèlent que des oiseaux qu'on croyait autrefois membres d'une population unique appartiennent en réalité à deux populations distinctes qui se reproduisent et hivernent dans des endroits différents et ne se mêlent pas naturellement. Par ailleurs, l'ADN a permis de déterminer que le Dolly Varden et l'Omble à tête plate sont des espèces biologiques distinctes — information qui a contribué à établir les bassins hydrographiques utilisés par chacun et à planifier la restauration de l'habitat dans le nord de la Colombie-Britannique. Enfin, grâce aux techniques génétiques, on a récemment réussi à prouver que les loups de la petite population qui vit dans le parc provincial Algonquin, dans le centre de l'Ontario, ne sont pas parents du Loup gris — comme on l'a longtemps cru — mais bien plutôt apparentés de près, sinon identiques, au Loup roux, fortement menacé de disparition. Toutes ces découvertes ont des conséquences importantes sur la conservation de la diversité biologique.

Les techniques génétiques servent également à constater les dommages génétiques, ou l'altération de la régulation d'un gène, causés par des contaminants tels que les pesticides — dont les effets pourraient autrement demeurer invisibles. Certains contaminants appelés perturbateurs endocriniens provoquent l'expression d'un gène chez le mauvais sexe. Le Centre national de la recherche faunique d'Environnement Canada a trouvé le moyen d'identifier ces substances en mesurant leur capacité de provoquer artificiellement l'expression d'un gène propre à un sexe — dans ce cas, le gène associé à la production de la protéine d'œuf vitellagonine, qu'on ne trouve normalement que chez les oiseaux femelles. Au cours d'une autre étude, l'analyse d'ADN a permis de déterminer les rôles joués par les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les biphényles polychlorés et les métaux lourds dans la création de mutations héréditaires chez les Goélands argentés qui nichent près d'industries sidérurgiques.

Les responsables de l'application des lois sur les espèces sauvages à Environnement Canada emploient également des marqueurs génétiques pour identifier une espèce à partir de matériel médico-légal, placer des individus dans une zone géographique et déterminer la filiation et le sexe. L'identification des espèces

L'analyse d'ADN permet aussi de s'assurer que certains aliments, tels que le caviar, ne contiennent pas de produits provenant de plantes ou d'animaux protégés en vertu de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction.

d'origine se heurte toutefois à un obstacle de taille, soit le manque de base de données d'ADN fiables qui pourraient fournir des références fondamentales. Des biologistes et des scientifiques de l'Université Trent de Peterborough, en Ontario, contribuent à la mise sur pied d'une banque de ce genre en créant des marqueurs d'ADN pour des espèces de canards et d'autres oiseaux aquatiques. Les marqueurs servent à détecter la présence de gibier illégal dans de la nourriture de restaurant — même dans des cas où le mélange de viande contient moins de 1 p.100 de gibier. Dans le cadre d'enquêtes sur des allégations de chasse illégale, on utilise aussi l'analyse d'ADN lorsqu'il n'y a pas d'autre moyen d'identifier des oiseaux dont les carcasses ont été plumées et décapitées.

L'identification d'espèces d'esturgeons à partir d'échantillons de caviar est un autre grand projet que le Ministère réalise conjointement avec le *United States Fish and Wildlife Service Forensic Laboratory* d'Ashland, en Oregon. Le laboratoire d'Ashland a déjà établi des séquences d'ADN spécifiques pour la plupart des 23 espèces d'esturgeons afin qu'on puisse identifier les œufs d'Esturgeon à museau court ou d'Esturgeon commun (Europe) — tous les deux protégés en vertu de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction — qui sont importés illégalement et s'assurer que les permis nécessaires ont été obtenus pour le caviar des autres espèces. Dans une affaire récente, une analyse d'ADN a révélé que du caviar d'« esturgeon » importé était en réalité un mélange d'œufs de hareng et d'autres poissons, qu'on avait colorés et refaçonnés.

Afin de prévenir le commerce illégal du Faucon gerfaut et du Faucon pèlerin, Environnement Canada collabore avec des éleveurs canadiens à l'établissement d'une banque d'ADN qui contiendra les profils génétiques des individus en captivité. Grâce à cette banque, les agents d'application des lois pourront vérifier si les oisillons vendus dans le commerce sont la progéniture de couples reproducteurs enregistrés ou s'ils ont été pris illégalement dans la nature.

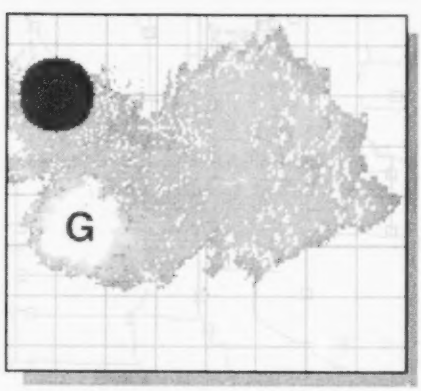
Bien que la majorité des projets génétiques d'Environnement Canada en soient encore au stade pilote, la contribution concluante de l'analyse d'ADN à divers objectifs de gestion de la faune a incité le Service canadien de la faune du Ministère à procéder à un examen complet des applications actuelles et potentielles. Les responsables de l'examen estiment que dans bien des cas le recours aux techniques génétiques améliorerait grandement la gestion de la faune, même si ces techniques sont encore assez coûteuses et exigeantes en main-d'œuvre comparativement aux méthodes traditionnelles de collecte de renseignements sur les espèces. Les responsables encouragent en outre le Ministère à créer un plus grand nombre de partenariats avec les laboratoires d'université et d'autres installations afin que soient réunies les données génétiques de base dont les agents d'application des lois sur les espèces sauvages ont besoin pour identifier et poursuivre les gens impliqués dans la chasse ou le commerce illégaux d'espèces en péril. SoE

UN SYSTÈME RADAR QUI ÉVALUE LA GRAVITÉ DES TEMPÊTES

Chaque jour dans le monde éclatent environ 44 000 orages — qui vont des orages localisés à cellule unique caractérisés par des averses torrentielles aux orages supercellulaires puissants qui occasionnent des vents violents, de la grêle, des crues éclairs et même des tornades. Le défi qu'ont à relever les prévisionnistes est de découvrir quels orages peuvent présenter un danger pour la population et la propriété et d'émettre des avertissements assez tôt pour permettre la prise de mesures de protection.

Jusqu'à tout récemment, les seuls outils à la disposition des prévisionnistes étaient les rapports de première main transmis par les observateurs et les données produites par les radars météorologiques. Malheureusement, lorsque les observateurs signalent un orage, celui-ci est presque toujours rendu au-dessus de nos têtes, ce qui donne peu de temps aux météorologues pour diffuser un avertissement. En revanche, les radars conventionnels peuvent envoyer des signaux hyperfréquences jusqu'à 325 kilomètres et mesurer le temps que mettent ces signaux pour rebondir sur la pluie, la neige ou la glace — ce qui permet aux météorologues de déterminer le type de tempête ainsi que la quantité et le taux de précipitations. Les nouveaux radars Doppler fournissent des renseignements additionnels sur la vitesse à laquelle se déplacent les précipitations, ainsi que sur les changements d'orientation du vent et les trajectoires cycloniques.

Bien que la courbe de la surface terrestre empêche les radars de détecter des orages à basse altitude à la limite maximale de leur portée, leurs données constituent une mine de renseignements sur la structure interne des orages à moins de 150 kilomètres de distance. La configuration unique de la circulation d'air et des précipitations à l'intérieur d'un nuage d'orage indique s'il s'agit ou non d'une supercellule — sorte de perturbation particulièrement puissante, responsable de la majorité de nos phénomènes météorologiques violents, y compris les tornades.



Résultat fourni par le RDSS signalant la supercellule d'une tornade qui s'est manifestée dans le sud-ouest de Winnipeg le 24 juillet 2000. Le cercle dans l'angle supérieur gauche marque l'emplacement du radar et la zone ombrée délimite l'étendue de la tempête – les régions pâles autour du « G » étant les plus dangereuses, tandis que le « G » montre la zone où se déversaient d'énormes grêlons.

Afin d'évaluer la force du courant ascendant d'un orage — et par conséquent la possibilité que ce soit une supercellule — les opérateurs radars ont toujours utilisé la technique de Lemon, c'est-à-dire qu'ils envoient des faisceaux dans l'orage afin de recueillir des données du courant descendant pluvial sous divers angles. Grâce à ces données, et à quelques calculs complexes, ils peuvent obtenir une image tridimensionnelle du courant descendant et déduire la force du courant ascendant. L'ennui avec cette technique, c'est qu'il faut une quinzaine de minutes pour juger de la gravité d'un seul orage. C'est long, vu la rapidité à laquelle évoluent ces perturbations, et peu commode pour les météorologues qui doivent tenter de deviner quels orages, parmi des douzaines, méritent de retenir leur attention.

Afin d'accélérer le processus, des météorologues d'Environnement Canada à Winnipeg et des spécialistes d'*Infomagnetics Technologies* ont conçu un logiciel appelé *Radar Decision Support System* (RDSS) (système radar de soutien décisionnel). Alimenté de données radar météorologiques classiques, ce système à la fine pointe de la technologie analyse la structure interne de tous les orages couvant dans une région et signalent ceux qui présentent les signes distinctifs des supercellules en leur attribuant un code de couleur, soit vert, jaune ou rouge (réservé aux phénomènes les plus violents) — tout cela en moins de cinq minutes. En plus de suivre les orages et d'indiquer s'ils gagnent en force ou s'affaiblissent, le radar offre aux prévisionnistes la possibilité de cliquer sur les perturbations pour obtenir plus de renseignements — une particularité qui s'est aussi avérée d'une valeur inestimable pour tous ceux qui étudient les orages.

Depuis son installation au Manitoba en 1994, le RDSS a fait l'objet de nombreuses améliorations, y compris l'addition de procédures informatiques étape par étape, ou algorithmes, qui permettent de détecter la formation

Suite à la page 5

Suite de la page 4

de grêlons et de vents violents. Le Centre de prévision des tempêtes des Prairies utilise maintenant le système pour surveiller simultanément tous les radars météorologiques du Manitoba, de la Saskatchewan et de l'Alberta et a été à même de constater une nette amélioration du délai de diffusion des avertissements. Le RDSS s'est bien souvent révélé utile, notamment en 1996, lorsqu'une supercellule littéralement surgie du néant a déversé sur Winnipeg des grêlons de la grosseur de balles de baseball pendant une trentaine de minutes. Au premier signe de perturbation, le RDSS a sorti un code rouge, ce qui a incité le prévisionniste à lancer un avertissement de grêle avant même que les observateurs ne produisent un rapport de temps violent.

Un exposé sur le système radar a été fait après les Olympiques de 2000 à Sydney, en Australie, et il a vivement intéressé les pays qui participaient à un atelier international sur la météorologie. En tant que membre du projet national de radars du Canada, Environnement Canada met actuellement au point un nouveau processeur radar unifié qui rassemblera les données du RDSS et celles du Doppler et constituera un système d'évaluation des phénomènes météorologiques violents encore plus efficace. Le nouveau processeur pourrait être opérationnel dès 2002. À longue échéance, les scientifiques d'Environnement Canada prévoient en outre créer de nouveaux algorithmes et les appliquer à la détection de phénomènes météorologiques hivernaux violents tels que les tempêtes de neige, les blizzards et la pluie verglaçante. S•E

Anatomie d'un orage

La masse bouillonnante de nuages sombres que nous voyons durant un orage est en réalité une structure tridimensionnelle complexe en perpétuelle évolution, constituée de une ou de plusieurs « cellules » autonomes. Chaque cellule est animée de courants d'air ascendants et descendants organisés qui déplacent de la vapeur d'eau entre la haute et la basse atmosphère et influent sur la circulation du vent alentour.

Au Canada, la plupart des orages éclatent au printemps et en été, généralement au cours de journées chaudes et humides où l'air en altitude est froid et sec. Dans cette atmosphère instable, il suffit d'un mouvement ascensionnel — créé, par exemple, par la chaleur qui se dégage du soleil et du sol, une masse d'air froid ou un obstacle tel qu'une colline ou une montagne — pour que l'air chaud et humide reposant près de la surface terrestre s'élève rapidement. Ce chaud courant ascendant, en prenant de l'altitude, donne naissance à un nuage qu'on appelle cumulus.

Alors que l'orage se développe, les cellules grossissent et poursuivent leur ascension. À l'intérieur des courants ascendants, l'air refroidit légèrement tout en demeurant néanmoins plus chaud que l'air ambiant; la vapeur d'eau se condense et se transforme en gouttelettes de pluie et en cristaux de glace. À un moment donné, la condensation dans le nuage devient telle que l'air ne peut plus la retenir. Elle commence donc à tomber sous forme de précipitations, et c'est à ce moment que le cumulus prend le nom de cumulo-nimbus ou « nuage d'orage », qui représente le stade de maturité du nuage.

La force des précipitations, en tombant sur la terre, engendre un courant descendant. Au début, celui-ci peuple uniquement les parties inférieure et intermédiaire des cellules, mais de 15 à 30 minutes plus tard, il se dilate graduellement vers le haut et l'extérieur pour finir par occuper le nuage entier, exception faite du sommet. Le courant descendant neutralise les courants ascendants chauds et entraîne la dissipation du système orageux. Durant ce stade, la pluie cesse graduellement et l'air froid du courant descendant se répand à la surface de la terre. C'est lui que l'on sent après un orage.

Environ 90 p.100 des orages obéissent à ce modèle et durent d'une demi-heure à une heure avant de se dissiper. Les uns sont des orages supercellulaires constitués d'un seul courant ascendant qui naît, se développe jusqu'à maturité, produit une averse et meurt. Les autres, plus courants, sont des orages multicellulaires composés de courants ascendants successifs, séparés, qui maintiennent plus ou moins un état stable. Les orages multicellulaires peuvent provoquer des perturbations graves, parfois des tornades de courte durée.

Durant son stade de maturité, la cellule peut produire de la grêle. Il faut pour cela qu'un courant ascendant d'une intensité plus forte que la normale apporte dans une région extrêmement froide de l'atmosphère des gouttes de pluie qui gèlent et s'amalgament à des morceaux de glace. Lorsqu'ils deviennent si lourds que le courant ascendant ne peut plus les supporter, les grêlons tombent au sol à grande vitesse.

Dans environ 10 p.100 des cas, la vapeur d'eau qui sature l'atmosphère inférieure alimente un courant ascendant avec une puissance telle que celui-ci prend une amplitude formidable et commence à tourner sur lui-même — phénomène portant le nom de mésocyclone. Cet orage supercellulaire peut maintenir un état intense et stable pendant des heures, et même exercer une influence sur l'air ambiant plutôt que l'inverse. La majeure partie des conditions météorologiques extrêmes que nous connaissons, y compris les très gros grêlons et les tornades de longue durée qui occasionnent de graves dommages, sont le fait de supercellules.

LES ACIDES HALOACÉTIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT

Carte du monde montrant les pays où ont été prélevés des échantillons de sol et de précipitations afin de comparer les taux d'acides haloacétiques (le Canada et le Royaume-Uni dans l'hémisphère nord, le Chili et le Malawi dans l'hémisphère sud).

On a trouvé des acides haloacétiques (AHA) dans les lacs, la nappe phréatique, l'eau potable, la glace de l'ère glaciaire, les précipitations, l'air et le sol. À fortes concentrations, ces acides sont toxiques pour les plantes, et on soupçonne que quelques-uns sont cancérogènes. Bien que les AHA aient fait l'objet de maintes études en Europe, on en savait peu sur leur présence et leur taux de concentration au Canada jusqu'à récemment, quand l'Institut national de recherche sur les eaux (INRE) a remédié à la situation en élaborant une méthode de mesure in situ toute particulière de ces substances dans les systèmes d'eau douce et les systèmes marins.

Les acides haloacétiques sont constitués d'une multitude de composés, tels que l'acide monochloroacétique, l'acide dichloroacétique, l'acide trichloroacétique et l'acide trifluoroacétique. On pense que certains AHA se forment naturellement dans l'environnement tandis que d'autres résultent des activités humaines. Par exemple, la dégradation de deux produits chimiques industriels, le tétrachloroéthène et le 1,1,1-trichloroéthane, engendrerait la formation de l'acide trichloroacétique dans l'atmosphère.

L'INRE a utilisé sa nouvelle technique, fondée sur les méthodes analytiques traditionnelles, pour effectuer les premiers contrôles pancanadiens d'AHA dans les systèmes d'eau douce. L'équipe de recherche a prélevé des échantillons d'eau dans divers lacs du pays — les Grands Lacs en Ontario, le lac Loon en Colombie-Britannique, le Grand lac des Esclaves dans les Territoires du Nord-Ouest, le lac Winnipeg au Manitoba et le lac Kejimkujik en Nouvelle-Écosse — et des échantillons de précipitations dans sept emplacements ministériels du Canada.

L'examen des échantillons de précipitations a révélé que les taux d'acides haloacétiques allaient de seuils indétectables à 2 400 nanogrammes par litre et que les concentrations les plus fortes se trouvaient dans les eaux de pluie de masses d'air qui étaient passées près ou au-dessus de régions industrialisées et densément peuplées. Les études des lacs ont donné des résultats semblables, et, ici aussi, on a constaté que les échantillons prélevés dans les zones d'activités industrielles contenaient des taux d'AHA supérieurs aux autres échantillons. Les concentrations d'acide trifluoroacétique dans le lac Supérieur, où industries et population sont peu nombreuses, sont d'environ 18 nanogrammes par litre. Tout au long du réseau des Grands Lacs, ces concentrations augmentent et elles culminent au lac Ontario pour atteindre quelque 150 nanogrammes par litre. Le taux de concentration de l'acide chloroacétique est relativement constant dans tous les Grands Lacs, soit approximativement 450 nanogrammes par litre. Le lac Winnipeg, situé en aval de sources urbaines, renferme de fortes concentrations, tandis que les lacs des régions plus isolées sont ceux qui en comptent le moins.

Afin de donner suite à cette première cueillette de renseignements concrets sur la présence d'AHA dans les eaux douces canadiennes, les scientifiques de l'INRE ont réalisé en collaboration avec des partenaires internationaux une étude ayant pour objet de comparer les taux d'AHA de l'hémisphère nord et de l'hémisphère sud. Ont été analysés des échantillons de précipitations et de sol prélevés au Canada, au Malawi et au Chili, et des échantillons de sol recueillis au Royaume-Uni.

Les échantillons de précipitations du Malawi contenaient les plus faibles concentrations d'acide trichloroacétique, et ceux du Canada les plus fortes. Les échantillons du Malawi renfermaient également de faibles concentrations d'acide monochloroacétique, qui étaient par ailleurs légèrement supérieures à celles du Canada et du Chili. Dans les échantillons de sol, les plus fortes concentrations d'AHA appartenaient au Royaume-Uni, les plus faibles, au Malawi, et les taux étaient plus élevés au Chili qu'au Canada. Les échantillons de sol et les échantillons de précipitations du Malawi contenaient aussi une petite quantité d'acide monobromacétique, un AHA présent dans seulement un des 11 emplacements chiliens. En général, l'acide dichloroacétique est l'acide haloacétique qu'on a trouvé en plus grande quantité dans tous les échantillons.

Dans l'ensemble, les résultats indiquent que les concentrations d'AHA sont les plus fortes dans l'hémisphère nord industrialisé — ce qui étaye les recherches canadiennes menées antérieurement par l'INRE et la théorie voulant que ces contaminants se trouvent principalement dans les régions industrialisées. Bien que des quantités substantielles de certains AHA aient aussi été trouvées dans l'hémisphère sud, les résultats sont loin d'être uniformes.

Les acides haloacétiques constituent un nouveau problème environnemental, et de grands efforts devront être déployés pour déterminer leurs sources, la façon dont ils sont transportés dans l'atmosphère et la nature exacte du danger qu'ils représentent pour l'environnement canadien et planétaire. Les chercheurs d'Environnement Canada continuent de collaborer avec des partenaires nationaux et internationaux pour trouver les reponses à ces questions et jeter les bases scientifiques de mesures qui permettront de réduire ces substances. S•E

PLEIN FEU SUR LES GAZ DE DÉCHARGE

Bien que les avions, les trains et les automobiles constituent de loin la principale cause des émissions de gaz à effet de serre dans le monde, les sources telles que les installations industrielles et les décharges jouent également un rôle prépondérant. Le fait d'en savoir davantage sur les émissions de ces sources fixes — et l'efficacité des techniques de réduction qui y sont utilisées — nous aidera à concevoir des mesures de prévention et de lutte capables de limiter leur incidence sur la qualité de l'air et les changements climatiques.

Le Centre de technologie environnementale (CTE) d'Environnement Canada s'emploie à découvrir comment ces sources se comparent entre elles en recueillant, en analysant et en surveillant les émissions à divers emplacements du Canada. Une des évaluations en cours porte sur la combustion des gaz de décharge — ce mélange issu de la décomposition de la matière organique dégradable déversée dans les décharges. Ses recherches ont permis au CTE de déterminer que plusieurs des méthodes employées permettent de détruire efficacement de nombreux composants néfastes des gaz de décharge et de réduire leur impact sur les changements climatiques.

Les gaz de décharge sont constitués principalement de méthane et de dioxyde de carbone, mais ils peuvent aussi contenir des traces de centaines d'autres éléments, et leur composition exacte varie d'un endroit à l'autre. Le dioxyde de carbone est le gaz à effet de serre le plus couramment associé aux changements climatiques et le plus répandu parmi les gaz attribuables à l'activité humaine. Par ailleurs, il est beaucoup moins puissant que le méthane, un gaz à effet de serre dont l'effet de réchauffement dépasse de 21 fois le sien. Étant donné qu'un quart de tout le méthane produit par l'activité humaine provient des décharges, la réduction des émissions de cette source est une des stratégies préconisées par le Protocole de Kyoto sur les changements climatiques.

La combustion des gaz de décharge permet de transformer le méthane en dioxyde de carbone et, par conséquent, de réduire considérablement son incidence sur les changements climatiques. Même si l'on ne brûlait que la moitié des gaz de décharge produits au Canada, cela équivaudrait à une baisse de quelque six millions de tonnes de dioxyde de carbone annuellement. Dans certaines décharges au Canada, les gaz sont recueillis et brûlés dans des torches — à l'air libre ou dans des cheminées fermées, ce qui est plus efficace. Dans un nombre croissant de décharges, toutefois, on brûle les gaz dans des chaudières ou des moteurs à combustion interne de taille industrielle afin de produire de l'énergie. Ces méthodes comportent l'avantage additionnel de contrebalancer la consommation d'autres combustibles fossiles polluants.

Les méthodes traditionnelles de combustion permettent de détruire bon nombre des constituants nocifs des gaz de décharge, mais il est toujours possible que certains soient rejetés dans l'atmosphère — y compris des composés organiques volatils, précurseurs du smog, des substances menaçant l'ozone, comme les fréons, et des substances toxiques telles que le chlorure de vinyle et le 1,3-butadiène. D'autres composés peuvent être produits par une combustion incomplète ou le procédé de combustion lui-même, par exemple le monoxyde de carbone, le soufre et les oxydes d'azote, les dioxines et les furannes et les hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Un camion spécialement équipé du Centre de technologie environnementale d'Environnement Canada analyse les émissions d'un moteur à mouvement alternatif brûlant des gaz de décharge pour produire de l'électricité.

Afin d'atténuer les conséquences potentielles de ces émissions sur la santé humaine et la salubrité de l'environnement, le ministère de l'Environnement évalue actuellement l'efficacité de plusieurs techniques de combustion des gaz de décharge. Dans ce but, il a réalisé des études sur les émissions générées par le dépotoir Meloche, à Montréal, et sur celles produites à Waterloo, en Ontario, où des moteurs à explosion brûlent les gaz de décharge pour produire de l'électricité qui est ensuite acheminée vers des réseaux de distribution. Des études additionnelles portent sur les émissions générées par une chaudière du Toronto suburbain et une cheminée fermée à Ottawa.

Le Ministère envisage déjà de réaliser d'autres études, mais les résultats obtenus jusqu'ici indiquent que les chaudières et les cheminées fermées peuvent détruire plus de 99 p. 100 des composés présents dans les gaz de décharge, alors que les moteurs à explosion peuvent en détruire environ 95 p. 100. Des ingénieurs ont constaté que ces procédés ont également l'avantage de produire des quantités relativement faibles d'autres gaz, tels que le monoxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène et les hydrocarbures halogénés.

Ces résultats constituent un argument probant en faveur de la récupération des gaz de décharge et de leur transformation en « énergie verte ». Le développement de ce genre de production d'énergie exigera des engagements des municipalités et des exploitants des décharges privées, qui devront investir dans les nouvelles techniques et les techniques existantes. Il faudra aussi adopter des mesures incitatives afin de promouvoir la récupération et l'utilisation des gaz de décharge partout au Canada. S•E

DES INDICES POUR ÉCLAIRCIR LES MYSTÈRES DU CLIMAT

De nouvelles idées sur la variabilité du climat dans l'hémisphère nord attirent l'attention du monde entier sur le phénomène de l'oscillation arctique — ou comment les changements de la pression atmosphérique de surface dans l'hémisphère nord modifient la configuration météorologique dans les latitudes tempérées. Ces nouvelles idées, qui ont germé à la suite de recherches effectuées au Centre canadien de modélisation et d'analyse climatiques d'Environnement Canada (CCmaC), à Victoria, en Colombie-Britannique, pourraient transformer la façon dont on étudiera dorénavant la variabilité et les changements climatiques.

Simulation des tendances des températures de surface dans la phase positive de l'oscillation arctique au moyen du modèle du climat mondial du CCmaC. Une basse pression domine l'Arctique au cours de cette phase, provoquant des températures plus chaudes que la normale (indiquées par des lignes foncées) en Europe et en Asie, et des températures plus froides qu'à l'accoutumée (illustrées par les lignes pâles) dans le Nord du Canada.

Déjà décrite dans le magazine *Science* comme le « principal commutateur » du climat, l'oscillation arctique a une portée plus grande encore que l'oscillation australe El Niño, qu'on associe au réchauffement et au refroidissement de l'océan Pacifique tropical. Lorsque l'oscillation arctique se trouve dans ce qu'on appelle sa phase positive, une basse pression prédomine dans l'Arctique et une haute pression dans les latitudes tempérées de la planète. Résultats : l'Europe et l'Asie enregistrent des températures plus chaudes qu'à l'accoutumée alors qu'il fait plus froid dans le Nord du Canada. Il faut habituellement de quelques jours à plusieurs mois avant que l'oscillation ne revienne dans sa phase négative, à laquelle correspondent une haute pression sur l'Arctique, une basse pression sur les latitudes tempérées et un renversement des températures.

D'un vif intérêt pour les scientifiques est le fait que l'oscillation est bloquée dans sa phase positive depuis des décennies — encore un exemple de modifications du système climatique provoquées par l'intervention humaine, d'après certains. En 1999, le CCmaC a démontré que des taux accrus de dioxyde de carbone expliquent en partie le retour plus fréquent de la phase positive de l'oscillation arctique. Depuis ce temps, une foule de recherches sur l'oscillation ont été entreprises par des scientifiques du monde entier, et l'*American Geophysical Union*, qui compte 10 000 membres, a récemment consacré un volet spécial au phénomène durant l'une de ses réunions.

Pendant ce temps, les scientifiques d'Environnement Canada ont franchi une autre étape dans leurs recherches. Se fondant sur des analyses réalisées selon une nouvelle technique statistique plus puissante, ils jugent maintenant préférable d'interpréter la variabilité climatique dans l'hémisphère nord en fonction d'un petit ensemble de régimes climatiques. L'atmosphère est soumise pendant de longues périodes à un régime donné, qui est remplacé assez rapidement par un autre. De ce point de vue, le réchauffement planétaire est considéré comme une tendance accrue vers un régime (relativement chaud, par exemple) plutôt qu'un autre.

En se servant du modèle informatique perfectionné de l'atmosphère terrestre et des océans du CCmaC, les scientifiques ont défini deux régimes climatiques dominants. Le premier et le plus courant se caractérise par des changements à grande échelle de la pression de surface au-dessus de l'Eurasie. Le second, plus épisodique, se trouve au-dessus de l'Atlantique Nord et est associé à des trajectoires de tempêtes considérablement modifiées puisque celles-ci sont déviées vers l'Arctique plutôt que vers l'Europe du Nord, comme c'est habituellement le cas.

Lorsqu'on exécute le modèle en augmentant sensiblement les taux de dioxyde de carbone, qui correspondent alors à ceux qui sont prévus dans les prochaines décennies, le second régime disparaît mystérieusement tandis que le premier, relativement chaud, subsiste avec une puissance accrue. Des études récentes publiées par Environnement Canada donnent à penser que l'atmosphère réelle se comporte peut-être déjà en bonne partie comme cette atmosphère virtuelle. Ces conclusions éclairent d'un jour nouveau les conditions climatiques que pourraient connaître le Canada et d'autres pays dans l'avenir et renforcent la nécessité de prendre des mesures fermes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle planétaire. S et E

TOUT SUR LE

Bulletin S et E

Le *Bulletin* paraît tous les deux mois et est élaboré par Environnement Canada pour présenter de l'information à la fine pointe de la science et de la technologie sur le plan environnemental aux Canadiens et Canadiennes.

Renseignez-vous davantage sur les sujets présentés dans ce numéro et ceux précédants en consultant notre site Web *S et E* à l'adresse suivante : [www.ec.gc.ca/science]. La version en direct du *Bulletin* renferme souvent plus de données et de graphiques et offre des liens à d'autres documents et sites pertinents. Bon nombre des publications ministérielles mentionnées dans le *Bulletin* figurent sur la Voie verte d'Environnement Canada à [www.ec.gc.ca] ou peuvent être commandées auprès de l'Informathèque au 1 800 668-6767.

Pour obtenir plus de renseignements sur un sujet, vous pouvez effectuer une recherche sur toutes les ressources en direct offertes par les quatre ministères des ressources naturelles canadiens — y compris le *Bulletin S et E* — en utilisant le moteur de recherche CanExplore à [www.canexplore.gc.ca].

Les représentants des médias ainsi que les autres personnes intéressées à mener une recherche plus approfondie peuvent obtenir les noms et numéros de téléphone des personnes-ressources en communiquant avec l'éditeur du *Bulletin*, Paul Hempel, à Paul.Hempel@ec.gc.ca, ou au (819) 994-7796. Nous invitons les lecteurs à lui envoyer également leurs commentaires et suggestions.

N'hésitez pas à reproduire de l'information provenant de la présente publication en indiquant sa source : le *Bulletin S et E* d'Environnement Canada.

ISSN 1480-3801 | Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2001